

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-072635

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

G02B 6/30

G02B 27/28

(21)Application number : 10-183105

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 29.06.1998

(72)Inventor : SATO YASUSHI

(30)Priority

Priority number : 09174855

Priority date : 30.06.1997

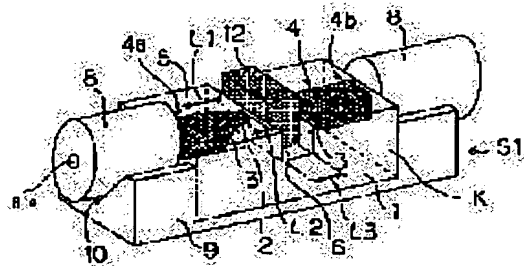
Priority country : JP

(54) OPTICAL DEVICE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an optical device capable of easily optically coupling various kinds of optical elements with low loss by providing the device with a core diameter-reducing region where the core diameter of a waveguide core is reduced toward both ends of ≥ 1 opening groove into which the optical elements are packaged.

SOLUTION: This device has the opening groove 6 where the optical elements are disposed between a light incident side core and light exit side core constituting the waveguide core 4. The core diameter facing the optical element on the light incident side core is made smaller than the core diameter of the light incident end 4a of the light incident side core and the core diameter facing the optical element on the light exit side is made smaller than the core diameter at the light exit end 4b of the light exit side core in such a manner that the mode field diameter of the guided light transmitted through the optical element is made wider than the mode field diameter of the guided light at the light exit end 4b of the light exit side core. The opening groove 6 may be disposed in a plurality. More adequately the opening groove 6 is provided with a mode field expanding part near the same.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.07.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)3月16日

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導波路コアを成す光入射側コアと光出射側コアとの間に、光学素子が配設される開口溝を備えるとともに、前記光学素子を透過する導波光のモードフィールド径が前記光入射側コアの光入射端部及び前記光出射側コアの光出射端部での導波光のモードフィールド径より広くするように、前記光入射側コアの前記光学素子に対面するコア径を前記光入射側コアの光入射端部のコア径より小さくし、かつ前記光出射側コアの前記光学素子に対面するコア径が、前記光出射側コアの光出射端部のコア径より小さくしたことを特徴とする光デバイス。

【請求項 2】 前記開口溝のギャップ幅 G が下記式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

$$G < 0.25\pi n\omega^2/\lambda$$

(ただし、 λ ：導波光の波長、 n ：光学素子の屈折率、 ω ：導波光のモードフィールド半径)

【請求項 3】 前記光デバイスの開口溝に光学素子を配設するとともに、前記導波路コアの光入射端部及び／又は光出射端部に光ファイバを配設したことを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 4】 前記開口溝内に、偏光面を所定角度だけ非相反に回転させる非相反回転子と、偏光面を所定角度だけ相反に回転させる相反回転子とを直列に配置し、前記開口溝に入出する導波光の偏光モードを選択的に通過させるように成したことを特徴とする請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 5】 基板の中央部に台形状のサブクラッド層を形成する工程と、前記基板上に前記サブクラッド層を覆う導波層を形成する工程と、該導波層を所定形状にパターンニングして導波路コア層を形成する工程と、該導波路コア層上にメインクラッド層を形成する工程と、前記導波路コア層を横切り且つ光学素子が配設される開口溝を形成する工程とを含む光デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信用機器、光記録用機器、光センサー等に使用されるバルク型の光学素子と、レーザーダイオード、光導波路、光ファイバ等とのハイブリッド実装に関するものであり、特に光通信用機器に用いられるレーザーモジュールに好適に使用可能な、ハイブリッド実装用導波路等の光デバイス及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、光アイソレータや偏光子、各種フィルタ、減衰機等の光素子が知られており、最近ではこのようなバルク型の従来の光部品に加え、導波路型の光部品が多く登場している。ただし、導波路形成の寸法トレランスが厳しく、波長依存性等も大きいため、実用化に至っていないものが多く、バルク型の部品と一部の導波路型部品、光ファイバ、半導体レーザー等の光能

動素子を混在させて使用しているのが現状である。

【0003】図 6 は、両端に光ファイバを接続した従来の光デバイスを示したものであり、ピグテイル型のバルク部品 J 1 の断面図である。図 6 に示すように、パッケージ 5 1 の内部には、光アイソレータ、フィルタ、減衰器、偏光子等の光学素子 5 2 が収容されている。光ファイバ 5 3 a から出射された光は、レンズ 5 4 a でコリメートされ、光学素子 5 2 を通過した後、再びレンズ 5 4 b で集光され、光ファイバ 5 3 b に入射される。

【0004】また、図 7 (b) に示すように、図 6 と同様なバルク部品として、レンズを用いずに光ファイバ 6 1 a、6 1 b の端面のモードフィールド径を拡大し、光学部品 6 2 を挟み込む光デバイス J 2 の提案もなされている。

【0005】これは、図 7 (a) に示すように、光ファイバ 6 1 の所定領域を加熱し、光ファイバ 6 1 のコア 6 1 c にドーピングされている Ge 等のドーパントを拡散させ、ドーパントの拡散領域を広げるとともに屈折率差を小さくさせたものである。これにより、シングルモードを保ったまま、モードフィールド径を拡大させている。そして、光ファイバ 6 1 を V 溝基板 6 3 に固定し、その後、コア拡大部 6 4 の中央に V 溝基板 6 3 の一部を切り込んだ開口部 6 5 を形成した後に、光学素子 6 2 を挿入している。

【0006】また、図 8 に示すように、導波路 8 0 の途中に開口部 8 2 を設け、この開口部 8 2 にバルク型の光学素子 8 1 を設置する構造の光アイソレータ J 3 の提案がなされている（例えば、特許公報第 2 5 8 6 6 0 6 号を参照）。これは、光学素子 8 1 の幅より広い開口部 8 2 を形成し、光学素子 8 1 と開口部 8 2 の露出端部 8 3 の間に隙間ができるように光学素子 8 1 を設置し、この隙間部に光硬化性皮膜 8 4 を充填し各皮膜に接する導波路を通じ、この光硬化性皮膜 8 4 に紫外線 UV を照射するようにしたものである。

【0007】この光硬化性皮膜 8 4 は、例えば、ポリメタクリル酸を母材とし、スチレン、ベンジルメタクリレート等を添加した材料よりなり、導波路から放射状に出射される紫外線の形状にしたがって、半球状に母材とスチレンまたはベンジルメタクリレートが重合され、その後、メチルアルコールに浸漬させることで未重合の添加材が除去され、受光部のみ屈折率の大きい半球状レンズ 8 5 を形成したものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図 6 に示すような従来のピグテイル型部品は、レンズと光ファイバの位置調整の精度を要し、組み立てに大変時間がかかる。また、光路長が長くなるほど調整が困難になるので、間に挿入する光学素子の厚さや光学素子の個数に制限がある。さらに、個々の光学素子をそれぞれ固定用のホルダーに取り付けてからパッケージに固定するた

め、部品点数が非常に多くなり、これもコストと組み立ての煩雑さを増加させている。

【0009】また、図7に示すようなコア拡大ファイバでは、シングルモード光ファイバのコア径を単純に増大させると、高次モードが励振されてしまい伝送特性が劣化する。そこで、高次モードを励振しないように、コア径が変化しても $r \times (D)^{1/2}$ が一定になるように、屈折率差を調整しなければならない。ここで、 r はコア半径、 D は比屈折率差、 $r \times (D)^{1/2}$ は規格化周波数に比例する数値である。

【0010】また、コア径の変化にしたがって、屈折率を調整するのは難しいため、シングルモード光ファイバのコアのドーパントを熱拡散する方法が用いられている。この方法では、熱によりコア内のドーパントがクラッド部に拡散して行き、コア径の拡大と屈折率の低下が同時に生じ、 $r \times (D)^{1/2}$ は一定に保たれる。

【0011】また、この方法では、ファイバ同士の軸ずれは生じないが、コア拡大部は均一加熱が難しく、進行方向に長い領域を作製することができない。また、コア拡大部が局所的で短いため、厚い素子や複数の素子の挿入には適さない。

【0012】さらに、最も大きな問題点は、熱拡散プロセスに時間がかかることであり、例えば $8 \mu\text{m}$ のコア径を $40 \mu\text{m}$ にするために、熱源、加熱範囲、温度等によって異なるものの数十時間も時間を要する。このように、安価にかつ容易に作成するプロセスとしては適していない。

【0013】また、図8の樹脂レンズを形成する方法は、光学素子を実装する開口部の幅の大きさに応じて半球レンズ85の曲率を制御し、最適な光の結合を得る必要があるが、曲率の制御は容易でない。また、樹脂充填や感光、あるいはメチルアルコールによる処理等の工程が増加し、部材も増加することになる。さらに、半導体レーザモジュールの中には、樹脂の劣化や樹脂からの長期に渡るガスの放出を避けるため、パッケージ内に樹脂が使用できない場合がある。

【0014】すなわち、光ファイバやレーザーダイオードや光導波路等の導波路型光部品と、バルク型光部品のハイブリッド実装は産業上に非常に重要な課題であるのに適当な実装構造がなかった。

【0015】そこで、本発明は上述の従来の諸問題を解消し、各種光学素子を簡便にかつ低損失に光結合できる非常に優れた光デバイス及びその製造方法を提供することを目的とする。さらに詳しくは、高次モードを励振せず、容易にモードフィールドを拡大する構造と、低損失に光結合するための最適な構造、寸法を備えた光デバイス及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の光デバイスは、導波路コアを成す光入射側

コアと光出射側コアとの間に、光学素子が配設される開口溝を備えるとともに、光学素子を透過する導波光のモードフィールド径が光入射側コアの光入射端部及び光出射側コアの光出射端部での導波光のモードフィールド径より広くするように、光入射側コアの前記光学素子に対面するコア径を光入射側コアの光入射端部のコア径より小さくし、かつ光出射側コアの前記光学素子に対面するコア径が、光出射側コアの光出射端部のコア径より小さくしたことを特徴とする。なお、上記開口溝は複数配設されていてもよい。さらに好適には、開口溝の近くにモードフィールド拡大部を設け、このモードフィールド拡大部のモードフィールド径 ω が $\omega^2 > 7.85 \times 10^{-4} \lambda / (\pi n)$ を満足する。

【0017】また、開口溝のギャップ幅 G が次の式を満足することを特徴とする。 $G < 0.25 \pi n \omega^2 / \lambda$ (ただし、 λ : 導波光の波長、 n : 光学素子の屈折率、 ω : 導波光のモードフィールド半径)。さらに好適には、 $G < 0.08 \pi n \omega^2 / \lambda$ とする。

【0018】また、光デバイスの開口溝に光学素子を配設するとともに、導波路コアの光入射端部及び／又は光出射端部に光ファイバを配設したことを特徴とする。

【0019】また、開口溝内に、偏光面を所定角度だけ非相反に回転させる非相反回転子と、偏光面を所定角度だけ相反に回転させる相反回転子とを直列に配置し、開口溝に入出する導波光の偏光モードを選択的に通過させるように成したことを特徴とする。

【0020】また、本発明の光デバイスの製造方法は、基板の中央部に台形状のサブクラッド層を形成する工程と、基板上にサブクラッド層を覆う導波層を形成する工程と、該導波層を所定形状にパターンニングして導波路コア層を形成する工程と、該導波路コア層上にメインクラッド層を形成する工程と、導波路コア層を横切り且つ光学素子が配設される開口溝を形成する工程とを含む。

【0021】なお、モードフィールド径は、光ビームにおいて、その光強度がピーク値の $1/e^2$ となる幅を意味する。

【0022】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施形態について図面に基づき詳細に説明する。図2(i)に示すように、本発明の光デバイスである光導波路体Kは、導波路コア4を成し光入射側に位置するコア(光入射側コア)の光入射端部4aと、光出射側に位置するコア(光出射側コア)の光出射端部4bとの間に、導波路コア4を横切る方向に光学素子が実装される1以上の開口溝6を備えるとともに、開口溝6の両端6a、6bに向かって導波路コア4のコア径が縮小していくコア径縮小領域A

(テーパ部3、コア径極小領域2)を設けている。すなわち、開口溝6(領域B)の両端6a、6bにおいてはコア径が極小に形成されている。すなわち、光学素子を透過する導波光のモードフィールド径が光入射端部4a

及び光出射端部 4 b での導波光のモードフィールド径より広くするように、光入射側コアの光学素子に対面するコア径を光入射側コアの光入射端部のコア径より小さくし、かつ光出射側コアの光学素子に対面するコア径が、光出射側コアの光出射端部のコア径より小さくしたことを特徴とする。また、コア径極小領域 2、開口溝 6 を合せてモードフィールド拡大部 M (図 2 (h)) となる。コアサイズは、薄膜の導波路コアを用いたスラブ型導波路ではコアの膜厚を意味し、コアが円形の場合その直径を意味する。また、コアが長方形の場合はその短辺の長さを意味し、正方形の場合はその一辺の長さを意味する。

【0023】ここで、開口溝 6 の好適なギャップ幅 G は、

$$G < 0.25 \pi n \omega^2 / \lambda$$

(ただし、 λ : 導波光の波長、 n : 光学素子の屈折率、 ω : 導波光のモードフィールド半径) とする。

【0024】これは、2つの導波路コア 4 間に屈折率が n の物質で満たされたギャップがある場合に、電力透過係数を 0.794 より大 (回折損失が 1 dB 未満) となるギャップ幅を算出して得られたものである。

【0025】また、より好適には、 $G < 0.08 \pi n \omega^2 / \lambda$ とする。この場合、電力透過係数を 0.975 より大 (回折損失が 0.1 dB 未満) となるギャップ幅を算出して得られる。

【0026】一般に 2つの対向する導波路間に屈折率が n の物質で満たされたギャップがある場合に、そのギャップ幅を G 、電力透過係数を T 、導波光の波長を λ 、モードフィールド半径を ω とすると、下記式の関係がある。

【0027】

$$T = (1 + ((2 \lambda G) / (\pi n \omega^2))^2)^{-1}$$

上記好適な開口幅 G は、上記関係式の T に 0.794 を代入し、

$$0.794 < (1 + ((2 \lambda G) / (\pi n \omega^2))^2)^{-1}$$

とし、この式を変形して得た。

【0028】 G が $100 \mu\text{m}$ 以下になる場合、開口溝 6 に挿入する光学素子は組み立て時の公差を考慮すれば $50 \mu\text{m}$ 以下程度になり、非常に限定されたものになるか、あるいは破損し易く、扱いが困難なため、実際上は用いることができない。したがって、産業上に利用する場合は、実用的なギャップ幅 G の大きさからモードフィールド径の好適な範囲を規定する必要があり、そのモードフィールド径 ω を $\omega^2 > 7.85 \times 10^{-4} \lambda / (\pi n)$ とする。これは、ギャップ幅 G を $200 \mu\text{m}$ 以上、回折損失 1 dB 未満として算出したものである。

【0029】また、図 9 に示すように、複数の開口溝、例えば開口溝 22、23 を設けて、図 10 に示すように光学素子 24、25 をそれぞれの開口溝 22、23 に配

設することにより、上記複数の開口溝の幅の合計 ($= G_1 + G_2$) と等しいギャップ幅を有する 1つの間隙部に光学素子を配設する場合よりも回折損失が低減するので好適である。

【0030】これは、図 4 のグラフから明らかなように、対向間隔が大きくなるほど回折損失の上昇が急激となるからである。例えば、図 4 を参照すれば、波長 $1.31 \mu\text{m}$ でモードフィールド径 $30 \mu\text{m}$ 、開口溝のギャップ幅が $600 \mu\text{m}$ の場合の回折損失は 1.17 dB だが、開口溝のギャップ幅が $300 \mu\text{m}$ の場合の回折損失は 0.32 dB であり、 $300 \mu\text{m}$ のギャップが 2 つあっても回折損失の合計は 0.64 dB となる。これは、トータルの素子厚さが同じでも、素子を分割した方が損失が少ないことを示している。また、光の進行方向と平行方向にモードフィールド拡大部を 1 mm 以上備えることで、比較的厚い素子を挿入したり、複数の開口溝の形成が容易にできる。このように間隙幅の小さいものを複数に分割して設けることで、合計の結合損失を 1つの間隙部を設ける場合より低く抑えることが可能になる。

【0031】次に、この光導波路体 K の作製方法について説明する。まず、図 2 (a)、(b) に示すように、例えば石英 (SiO_2) 等の基板上 1 に CVD 法等の成膜法により、テーパーラッド 13 を台形状に所定の厚さ (例えば、 $7.5 \mu\text{m}$ 程度の厚さ) で形成しサブクラッド層とする。これは、基板 1 よりマスクを数十 μm から数百 μm 浮かせて成膜することで比較的容易に作製できる。また、テーパーの度合いは上記浮かせる距離で制御する。

【0032】次に、図 2 (c) に示すように、例えば SiO_2 に Ge 等をドーピングして比屈折率を SiO_2 より 0.3% 程度高くした導波層 14 を、基板 1 からの厚さが $8 \mu\text{m}$ 、テーパーラッド 13 からの厚さが $0.5 \mu\text{m}$ になるように、CVD 法等により形成する。

【0033】次に、図 2 (d) に示すように、導波層 14 の上にマスク 15 を形成する。ここで、モードフィールド拡大部 M はその幅 D_1 を $0.5 \mu\text{m}$ に絞り、両端部の幅 D_2 は $8 \mu\text{m}$ にしてある。

【0034】次に、図 2 (e) に示すように、RIE (反応イオン性エッチング: Reactive Ion Etching) によるエッチングにより、導波路側部を削除し導波路コア 4 を形成し、図 2 (f) に示すように、マスク 15 を取り去る。

【0035】次に、図 2 (g) に示すように、基板 1、テーパーラッド 13 と同一の屈折率を有する SiO_2 をメインクラッド層 5 として導波路コア 4 を被覆する。ここで、図 2 (h) は導波路コア 4 を透視した様子を図示している。

【0036】最後に、図 2 (i) に示すように、光学素子を固定するための開口溝 6 を例えばダイシングソーにて研削する。

【0037】上記作製方法は、通常のストレート（直線状）の導波路を作製する場合に比べ、図2（b）、

（d）の工程が異なるだけであり、通常の作製工程をわずかに変えることにより、導波路体を作製することができる。

【0038】すなわち、図2（b）において、テーパクラッド13の形成が増加するだけであるが、一連の他の成膜と同じ装置（例えば、CVD装置）で作製できるので、別の装置を用意したり、セッティング等の手間は一切かからず、作製時間の増加も僅かである。また、図2（d）はストレートの導波路とマスクパターンが異なるだけなので工程も煩雑にならない。

【0039】次に、2つの導波路を対向させた場合の光の結合効率を図4に示す。横軸は導波路の対向間隔であり、本発明においては開口溝6の幅Bに相当する。縦軸は光の損失を示す。モードフィールドはガウシアン分布を仮定しており、波長は $1.31\mu\text{m}$ で開口溝内の屈折率は空気（ $n=1$ ）としてある。破線はモードフィールド径Wが $10\mu\text{m}$ の導波路の場合を示し、対向間隔の幅（開口溝6のギャップ幅）が $500\mu\text{m}$ になれば、損失は 12dB 以上になってしまう事を示している。しかし、モードフィールド径を $40\mu\text{m}$ に拡大した場合（実線）は、対向間隔が $500\mu\text{m}$ でも光の損失は 0.3dB 程度に低減できることがわかる。

【0040】図5に、コア径とモードフィールド径の関係の目安として、スラブ型導波路での導波層の厚さ（コア径に相当）とモードフィールド径との関係を示す。図5から明らかなように、導波層厚の増加に伴い、モードフィールド径は増加するが、厚さ $4\mu\text{m}$ 程度を境に導波層厚が減少してもモードフィールド径が拡大できることがわかる。また、比屈折率差が変わらなければ、コア径が増大すれば高次モードが発生し伝送特性が劣化してしまうが、導波路コアを縮小する場合、高次モードは発生しないので比屈折率差を変化させる必要はない。

【0041】このように、導波路コアを縮小した導波路同士を対向させ、低損失な結合を実現するハイブリッド実装の提案はこれまで無かった。バルク実装部を含むモードフィールド拡大部（＝2つのコア極小部2＋領域B）の長さは自由に設計できるため、任意の厚さの複数枚のバルク状光学素子と光ファイバあるいは光能動素子を容易に結合できる。モードフィールド拡大部をあらかじめ数mmを超える長さに作製しておき、挿入する素子の厚さ、個数は予め定まっていなくとも、汎用的に対応させることも可能である。

【0042】また、上記の実装構造において、素子実装用の溝にバルク状の非相反偏光回転子、相反回転子を設け、溝部を中心にコア径が縮小していく領域の外側に金属、もしくは異方性の誘電体、もしくは金属、誘電体の複合薄膜を装荷して、導波路型モードスプリッタを形成し、光デバイスである表面実装型光アイソレータとする

ことができ、これにより、挿入損失の少ない表面実装型光アイソレータが容易に実現される。

【0043】

【実施例】次に具体的な実施例について説明する。

【0044】〔例1〕図1に光デバイスである光導波路体Kの光入射端部4aと光出射端部4bのそれぞれに光ファイバ8、8を光結合して成る光デバイスの斜視図を示す。なお、8aはファイバコアである。図1に示すように、石英基板1上に、その全長 15mm に対し、断面略正方形のコアサイズ $0.5\mu\text{m}$ のモードフィールド拡大部（開口溝6のギャップ幅 $L3:0.5\text{mm}$ 、それぞれのコア径極小部2の長さ $L2:1\text{mm}$ ）を 2.5mm 、その両側にテーパ部3（長さ $L1$ ）を 5mm ずつ、断面略正方形のコアサイズ $8\mu\text{m}$ の光入射部4a、光出射部4bをそれぞれ長さ 6.25mm になるように、コア形状をCVD法及びエッチング法により形成した。導波路コア4は石英基板1に対し比屈折率差 0.3% でコア全体に渡って屈折率は変化しない。その上から石英のクラッド層5を形成した。

【0045】モードフィールド径はコアサイズが $0.5\mu\text{m}$ のモードフィールド拡大部で約 $30\mu\text{m}$ 、光入射部4a、4bでモードフィールド径はおおよそ $10\mu\text{m}$ となる。

【0046】光入射端部4a、4bには、光ファイバ8をバットジョイントにより接続した。9は表面実装用導波路7と光ファイバ8をアライメントして固定するためのV溝付き基板であり、ファイバの位置決め、保持のためにV溝10を有している。

【0047】また、モードフィールド拡大部には開口溝6のギャップ幅が約 $500\mu\text{m}$ 幅に、ダイシングソーで切削されており、ここに誘電体の多層膜から成る波長フィルター12を挿入固定した。なお、誘電体の多層膜には、例えば ZnS と MgF_2 の組み合わせや TiO_2 と SiO_2 の組み合わせ等とする。

【0048】光入射端部4aへの入射光と光出射端部4bからの出射光について光損失の測定を行ったところ、ギャップ幅 $500\mu\text{m}$ での回折損失は波長 $1.31\mu\text{m}$ で約 0.85dB であった。

【0049】なお、波長フィルターの固定は半田等でもよいが、その場合は、波長フィルター12の両面は対空気用のARコート（anti-reflection coating）とし、エアーギャップを設ける必要がある。また、波長フィルター12の両面は対接着剤用のARコートを施し、波長フィルター12の挿入時の隙間は屈折率を調整した（屈折率：約1.6）熱硬化性のエポキシ系の接着剤等の光硬化樹脂を充填してもよい。また、図1には図示しないが、最終的には信頼性向上のためにパッケージ内に密閉される。

【0050】〔例2〕図3に本発明の実装構造を用いた光デバイスである光アイソレータS2を示す。基板1、

クラッド 5 は石英ガラスからなり、導波路コア 4 は石英ガラスに Ge 等をドーピングして屈折率を 0.3% 上げている。モードフィールド拡大部のコア径は $0.5\ \mu\text{m}$ でモードフィールド径は約 $30\ \mu\text{m}$ 、光入射端部 4 a、4 b のコア径は $8\ \mu\text{m}$ でモードフィールド径は約 $10\ \mu\text{m}$ とした。

【0051】光学素子を実装する開口溝 6 を挟むように、Al 薄膜をコア 4 の上に成膜し、第 1 の偏光モードスプリッタ 16 a と第 2 の偏光モードスプリッタ 16 b を形成した。

【0052】開口溝 6 には、厚さ約 $400\ \mu\text{m}$ の磁性ガーネットからなる非相反偏光回転子 17 と、厚さ $90\ \mu\text{m}$ の水晶からなる相反偏光回転子 18 とを併設し、これら光学素子を縦列に配置した。

【0053】なお、水晶の C 軸は水平面から 22.5 度の角度を持たせている。磁性ガーネット等からなる非相反偏光回転子をファラデー回転子、水晶等の複屈折材料からなる相反偏光回転子は $1/2$ 波長板と称する場合もある。

【0054】次に、この表面実装型の光アイソレータの動作について説明する。ここで、入射部 4 a から出射部 4 b の方向を見て時計周りの方向をプラス (+)、逆をマイナス (-) の回転とする。

【0055】入射部 4 a への入射光 20 は、第 1 の偏光モードスプリッタ 16 a で TE 偏光のみになり、モードフィールド拡大部で光のモードフィールドを拡大させる。次に非相反偏光回転子 17 で偏光面は ± 45 度回転し、相反偏光回転子 18 で -45 度回転し、TE 偏光として第 2 の偏光モードスプリッタ 16 b を通過する。

【0056】逆方向の入射光 21 は、第 2 の偏光モードスプリッタ 16 b で TE 偏光になり、相反偏光回転子 18 で -45 度偏光面を回転させ、非相反偏光回転子 17 でさらに -45 度偏光を回転させ TM 偏光となる。この光は第 1 の偏光モードスプリッタ 16 a により除去される。

【0057】この表面実装型光アイソレータ 12 によれば、挿入損失 1 dB 以下、アイソレーション 36 dB 以上の優れた特性が容易に実現できた。

【0058】なお、基板 1 は石英ガラスの他高分子材料や他の光学ガラス、半導体からなるものでもよい。さらに偏光モードスプリッタとしては Al 以外にも Cu や Ag の金属を成膜し TM 偏光を吸収するもの、水晶やルチルを装荷し屈折率の異方性を利用し片方のモードを放射させるもの、導波路型分岐器で伝搬定数を変え、2 つのモードに分岐させるもの等がある。したがって、実施例とは逆に TE 偏光を除去し TM 偏光のみを透過させることも可能である。

【0059】さらに、開口溝 6 を複数設けて、光アイソレータとフィルタや、2 つの光アイソレータを同時に実装することも可能である。例えば、図 4 のグラフを見れば

ば厚さ $300\ \mu\text{m}$ の光学素子 2 枚を導波路中に挿入する場合、モードフィールド径 $30\ \mu\text{m}$ のモードフィールド拡大部に $600\ \mu\text{m}$ の溝を一箇所形成すると溝部での回折損失は 1.17 dB だが、 $300\ \mu\text{m}$ の溝を 2 箇所形成すると回折損失は合計でも 0.64 dB にしかならないことがわかる。すなわち、光路長の合計が同じでも素子が分割できれば素子実装時の損失を減らすことが可能である。これはレンズでは実現できない大きな利点である。

【0060】〔例 3〕光デバイスである光導波路 K の別の形状、作製方法について説明する。まず、図 11

(a) (a')、(b) (b') に示すように、例えば石英 (SiO₂) 等の基板 1 上に CVD 法等の成膜法により、例えば SiO₂ に Ge 等をドーピングして比屈折率を SiO₂ より 0.3% 程度高くした導波層 14 を、基板 1 からの厚さが $8\ \mu\text{m}$ に成るよう形成する。

【0061】次に、図 11 (c) (c') に示すように、導波層 14 の上にマスク 15 を形成する。ここで、モードフィールド拡大部 M はその幅 D1 を $0.5\ \mu\text{m}$ に絞り、両端部の幅 D2 は $8\ \mu\text{m}$ にしてある。

【0062】次に、図 11 (d) (d') に示すように、RIE によるエッチングにより導波路側部を削除し導波路コア 4 を形成し、図 11 (e) (e') に示すように、マスク 15 を取り去る。

【0063】次に、図 11 (f) (f') に示すように導波路コア 4 の中央部が所定の厚みまで (例えば $0.5\ \mu\text{m}$ 程度の厚さ) 薄くなるように RIE でエッチングする。なお光入射端部 4 a、4 b とはなだらかなテーパでつながるようにする。これは、導波路コア 4 よりマスクを数十 μm から、数百 μm 浮かせてエッチングを行うことで容易に形成できる。また、テーパの度合いは、浮かせる距離で制御する。

【0064】次に、図 11 (g) (g') に示すように、基板 1 と同一の屈折率を有する SiO₂ をメインクラッド層 5 として導波路コア 4 を被覆する。ここで、図 11 (g) (g') は導波路コア 4 を透視した様子を図示している。

【0065】〔例 4〕さらに、光導波路 K の別の形状、作製方法について説明する。

【0066】まず、図 12 (a) (a')、(b) (b') に示すように、例えば石英 (SiO₂) 等の基板 1 上に CVD 法等の成膜法によりテーパクラッド 13 を台形状に所定の厚さ (例えば $3.75\ \mu\text{m}$ 程度の厚さ) で形成しサブクラッド層とする。これは、基板 1 よりマスクを数十 μm から、数百 μm 浮かせて成膜することで比較的容易にできる。また、テーパの度合いは、浮かせる距離で制御する。

【0067】次に、図 12 (c) (c') に示すように、例えば SiO₂ に Ge 等をドーピングして比屈折率を SiO₂ より 0.3% 程度高くした導波層 14 を、基

板 1 からの厚さが $8\ \mu\text{m}$ 、テーパーラッド 1 3 からの厚さが $7.75\ \mu\text{m}$ になるように、CVD 法等により形成する。

【0068】次に、図 1 2 (d) (d') に示すように、導波層 1 4 の上にマスク 1 5 を形成する。ここで、モードフィールド拡大部 M はその幅 D 1 を $0.5\ \mu\text{m}$ に絞り、両端部の幅 D 2 は $8\ \mu\text{m}$ にしてある。

【0069】次に、図 1 2 (e) (e') に示すように、RIE によるエッチングにより導波路側部を削除し導波路コア 4 を形成し、図 1 2 (f) (f') に示すように、マスク 1 5 を取り去る。

【0070】次に図 1 2 (g) (g') に示すように導波路コア 4 の中央部が所定の厚みまで (例えば $0.5\ \mu\text{m}$ 程度の厚さ) 薄くなるように RIE でエッチングする。なお光入出射端部 4 a、4 b とはなだらかなテーパーでつながるようにする。これは、導波路コア 4 よりマスクを数十 μm から、数百 μm 浮かせてエッチングを行うことで容易に形成できる。また、テーパーの度合いは、浮かせる距離で制御する。

【0071】次に、図 1 2 (h) (h') に示すように、基板 1 と同一の屈折率を有する SiO_2 をメインクラッド層 5 として導波路コア 4 を被覆する。ここで、図 1 2 (h) は導波路コア 4 を透視した様子を図示している。

【0072】なお、導波路形状は、開口溝 6 に挿入する光学素子に好適な形状にすることができる。図 2 に示した光導波路体 K はモードフィールド拡大部が上側に偏っているため、モードフィールドも上側に偏っており、図 3 に示した光アイソレータを形成する場合に表面の薄膜 1 6 a、1 6 b と光の相互作用が生じ易いため好適である。また図 1 2 に示した光導波路体 K は対称性が高いため、テーパー部での光の損失が少なく、汎用性も高い。

【0073】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば以下に示す優れた効果を奏することができる。

【0074】・光学アライメントのための光学素子を保持する部品が不要になり部品点数、容積等を低減させることができ、ひいては組み立て作業が簡便となり小型化を図ることができる。

【0075】・一つの設計 (製品) のみで、さまざまな厚さ、個数の光学素子の実装に対応できるため、特に、複数の光学素子を同時に、容易に実装できる。また、光学素子の実装位置を分割することで、実装時の損失を低減することができ、開口溝形成位置のトレランスも非常に大きい。

【0076】・光の通過部には空間伝播部がほとんど存在しないため、環境の変化による特性の変化が生じにくい。

【0077】・コアを縮小する場合、高次モードは発生しないので、比屈折率差を変化させる必要がなく、これによりモードフィールド拡大部の作製が容易となる。

【0078】・通常の直線状の導波路作製プロセスを僅かに変えるだけで、特別な製造装置、追加の部材、手間が不要で、作製時間もほとんど変えずに容易に作製が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る表面実装用の光導波路体及び光デバイスを説明する斜視図である。

【図 2】本発明に係る光導波路体の作製工程を模式的に説明する斜視図である。

【図 3】本発明に係る光アイソレータを説明する斜視図である。

【図 4】モードフィールド半径、対向間距離及び回折損失の関係を説明するグラフである。

【図 5】スラブ型導波路の導波層厚とモードフィールド径の関係を説明するグラフである。

【図 6】従来のビッグテイル型部品を示す断面図である。

【図 7】(a)、(b) はそれぞれ従来のコア拡大ファイバによる実装方法を説明する一部断面図である。

【図 8】従来の光アイソレータを示す一部断面図である。

【図 9】本発明に係る光デバイスの斜視図である。

【図 10】本発明に係る光デバイスの斜視図である。

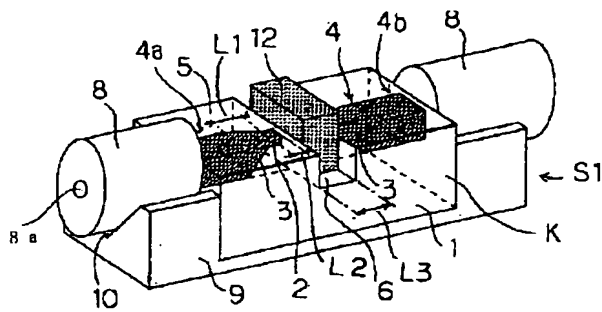
【図 11】(a) ~ (g) は、本発明に係る光導波路の他の製造工程を示す上面図であり、(a') ~ (g') はその側面図である。

【図 12】(a) ~ (h) は、本発明に係る光導波路の他の製造工程を示す上面図であり、(a') ~ (h') はその側面図である。

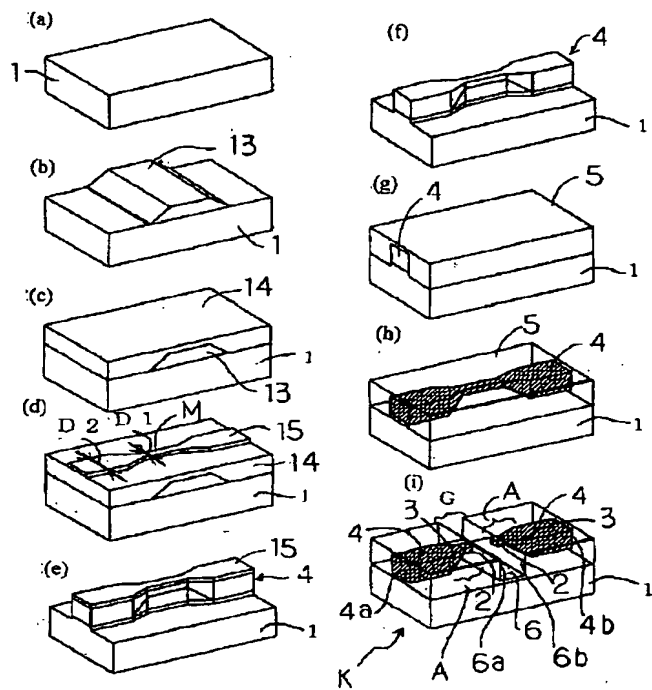
【符号の説明】

- 1 : 基板
- 4 : 導波路コア
- 4 a : 光入射端部
- 4 b : 光出射端部
- 5 : 導波層 (クラッド層)
- 6 : 開口溝
- K : 光導波路体 (光デバイス)
- S 1 : 光デバイス
- S 2 : 光アイソレータ

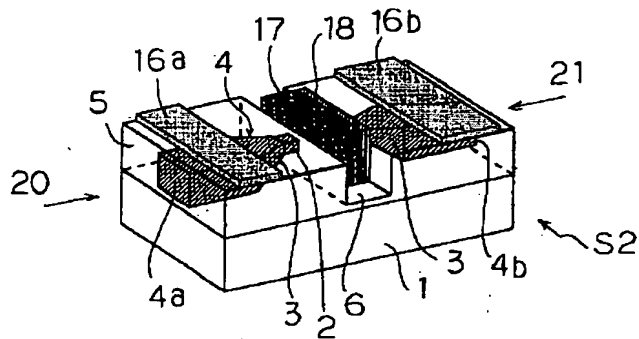
【図 1】



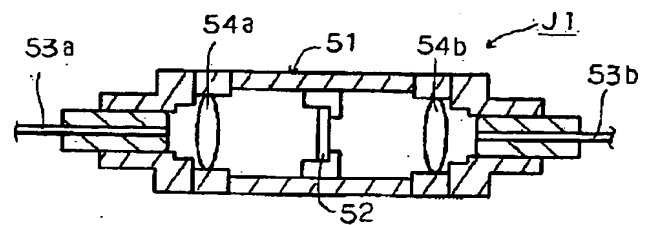
【図 2】



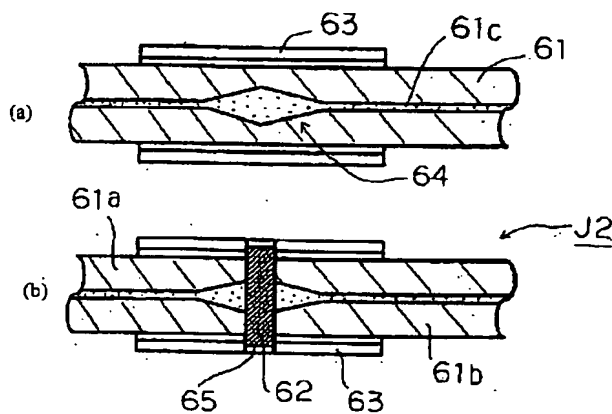
【図 3】



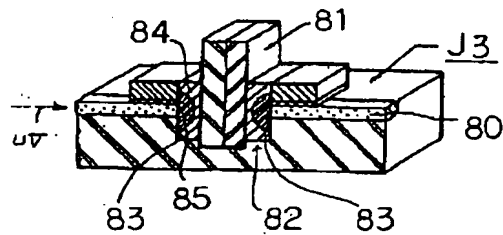
【図 6】



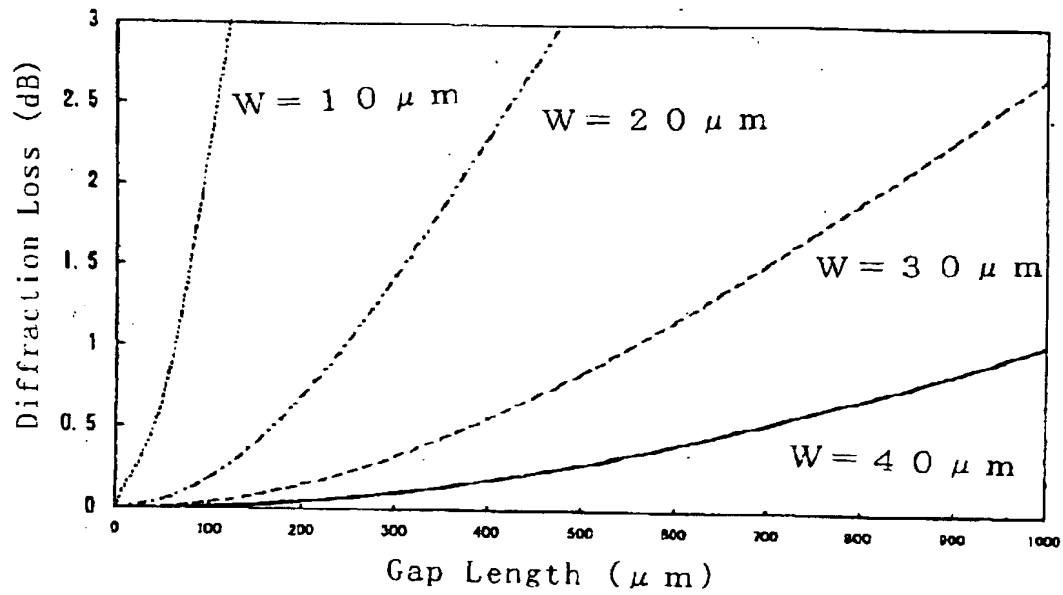
【図 7】



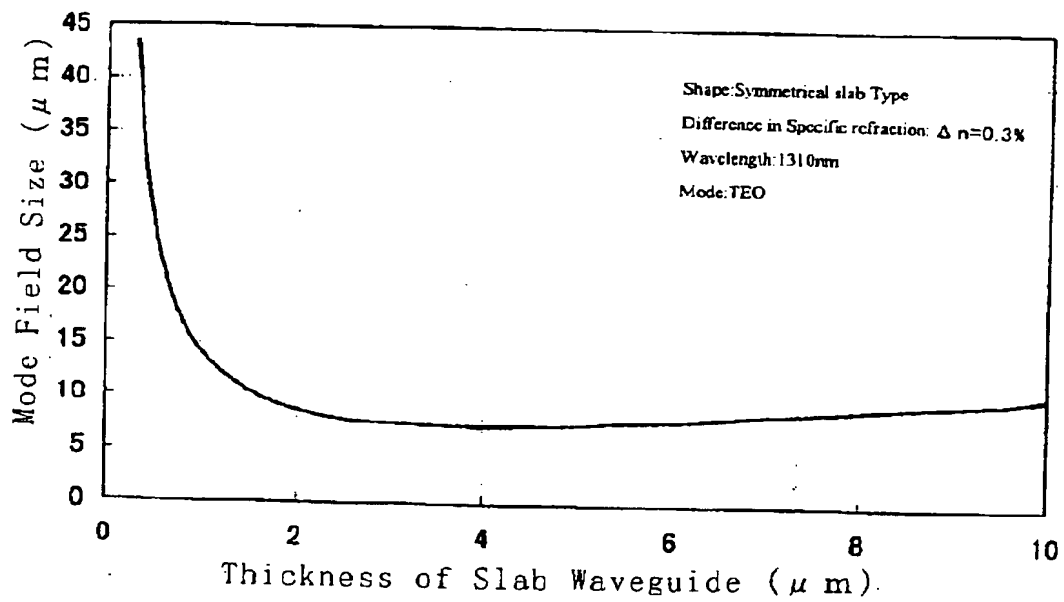
【図 8】



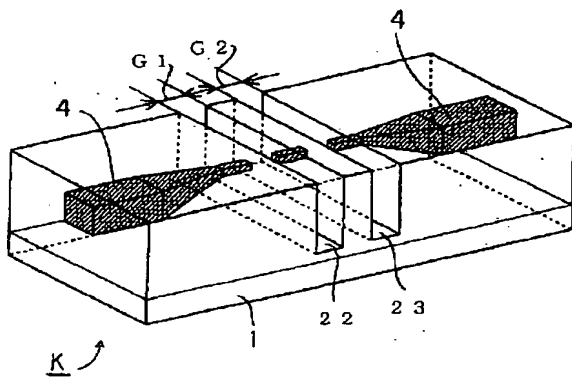
【図 4】



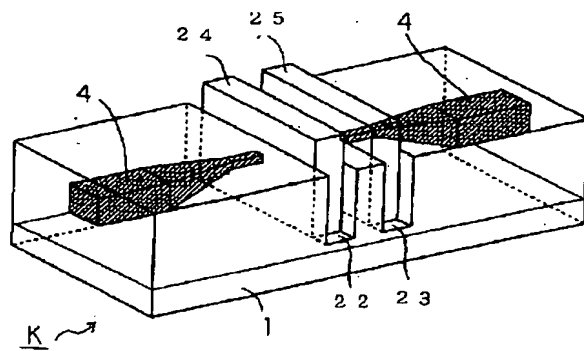
【図 5】



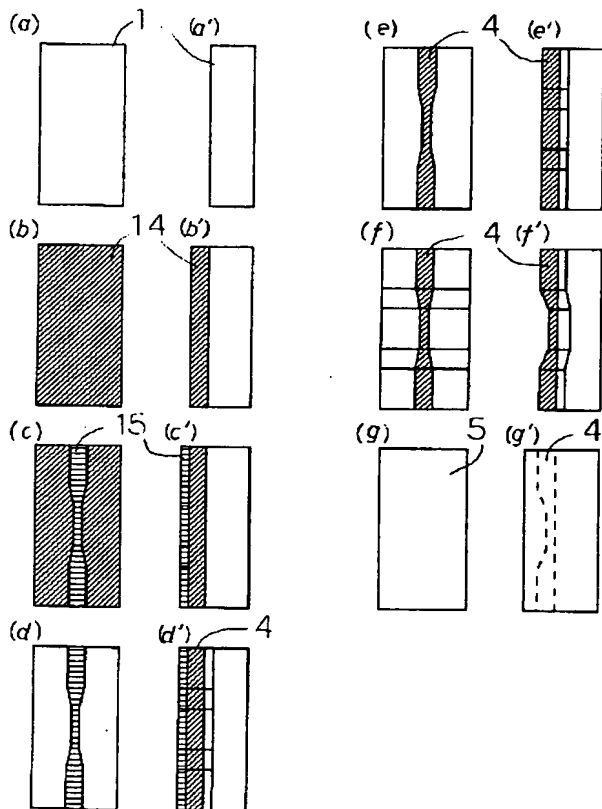
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

